

## 소음유발 청력손실과 소음폭로에 대한 연구

경산대학교 자연과학대학 물리학과

장 호 경

본 연구에서는 A청감보정 소음레벨과 폭로기간에 대한 소음유발 청력손실과 소음폭로 사이의 관계를 해석하였다. 연령과 소음폭로등 다양한 변수에 대하여 청력손실과 청감민감도 변화를 조사하였다. 연구결과 전체 청력손실은 음압의 시간적분에 의한 소음폭로 레벨에 비례하였다. 만약 소음폭로가 노인성 난청보다 크면 연령과 소음에 의해 발생하는 청력손실은 주된 원인이 소음에 의한 것임을 확인하였다. 과도한 소음은 일시적 청력손실의 원인이며, 폭로가 길어지거나 강력하면 영구적 청력손실의 원인이 될 수 있다. 소음유발 청력손실을 겪는 사람의 청력도는 4kHz 영역에서 청감민감도의 급격한 손실을 보여주며, 이 영역은 여러 형태의 산업소음으로 인해 가장 손상받기 쉬운 전형적인 주파수영역임을 확인하였다.

### 서 론

지나친 소음은 불쾌감, 수면방해, 회화방해, 작업방해, 청력손실등을 일으키는 원인이며, 특히 소음에 의한 과도한 폭로는 청력손실을 유발한다. 소음성 청력손실은 소음의 세기, 소음의 스펙트럼, 소음의 지속시간, 개인의 건강상태등 복합적인 요소가 관계되고 있다[1-3].

산업의 발전에 의해 직업성 소음에 의한 난청 환자의 발생빈도가 점차 높아지고 있으며, 1985년 노동부 자료에 의하면 전체 직업병 증세 근로자중 난청 질환자가 41.9%로서 5년 사이에 2배로 급증하고 있음을 확인할 수 있다. 근무년수 및 연령이 높아질수록 그 정도가 심한 것으로 나타났다[2]. T.Miyakita 등은 1993년 일본 노동성의 정기 의학검진 조사서에서 산업별 청력측정 자료를 분석한 결과 작업장의 소음폭로에 의해 4kHz에서 청력손실(hearing loss)이 40dB보다 큰 양성 결과를 나타내는 비율은 평균 10.0%이고, 1kHz에서 양성 결과를 나타내는 비율은 평균 5.0%임을 확인하였다[4]. Jerry L. Yanz 등은 소음유발 청력손실에서 연령 및 소음폭로에 의한 기여율 등을 자료조사와 동물실험으로 연구하였으며 [5-7], W.Kraak 등은 정상소음과 충격소음에 의한 와우각신경(cochlear nerve), 모세포(hair cell) 등의 청각기관 손상을 연구하였으며[8-10], Larry E. Humes 등은 연령의 증가로 인해 발생하는 노인성 난청과

영구 청감민감도 변화에 대하여 연구하였다[11-14].

현재에도 95dB(A) 이상의 높은 소음도가 발생하는 작업장이 많이 존재함으로 문제점의 근본적인 진단이 이루어진 후 단계적인 대책이 수립되어야 한다. 본 연구에서는 소음유발 청력손실과 소음폭로 사이의 관계를 해석하고자 정상소음과 변동소음에 의한 폭로, 소음의 강도, 음압레벨, 폭로기간등 다양한 청력손실의 원인이 되는 양과 청력손실 사이의 수리적 관계를 연구하였다. 그리고 연령, 소음폭로, 연령과 소음폭로의 결합형태등 여러 요인에 의해 발생하는 청감민감도 변화(hearing sensitivity threshold shift)를 조사하였다. 80, 85, 90, 95, 100dB(A)의 소음폭로가 있을 때 소음레벨의 영역과 주파수에 대하여 50%의 청감의 한계레벨 변화를 조사하였으며, 연령과 소음폭로에 의한 청력장애(handicap)로 발전된 위험율을 연구하였다. 장기간의 소음폭로에 대하여 연령과 소음폭로 두 요인이 복합되어 발생하는 청력손실을 조사하여 산업소음으로 인해 발생하는 주파수 영역별 청력도를 해석하였다. 그리고 노화 과정으로 인해 나타나는 청감민감도의 변화를 조사하였다.

### 이론 및 방법

청각기관에는 음파를 전달하는 전음기구(sound conducting apparatus)와 신경흥분으로 전환하여 청

각을 일으키는 감음기구(Sound perceiving apparatus)가 있으며, 청각장애는 어느 쪽이 손상되는가에 따라 증상과 진행상태가 다르다. 중이염등 전음기구의 질환에 의해 청력손실이 많이 발생하며, 건강한 사람도 노인이 되면 청력이 감소되는데 이것은 전음기구의 노인성 변화로 인해 일어나는 것이다. 감음기구의 장애로 오는 청력감퇴는 주로 신경조직의 변성에 기인한다. 근로자의 경우 큰 소음에 오랫동안 폭로되는 것이 원인이 되어 감음기구의 일부에 변성을 일으켜 청력이 떨어지는 경우가 있는데 이것을 직업성난청(professional hearing loss)이라고 한다. 일시적 청력손실(temporary threshold shift)은 강력한 소음의 영향에 의하여 일시적으로 청신경의 전도성이 저하되는 가역적인 피로 현상으로 시간이 지남에 따라 원래의 상태로 회복하지만, 그 회복 속도는 청력손실의 정도에 따라 다르다. 영구적 청력손실(permanent threshold shift)은 간헐적인 소음에 폭로되는 것이 오랫동안 계속되면 드디어 영구적인 난청을 초래한다.[1]

소음유발 청력손실은 초기에 3,000Hz~6,000Hz 범위에서 주로 발생하고 점차로 정도가 심하여 질수록 6,000Hz 이상의 고음역과 3,000Hz 이하의 저음역에까지 청력손실이 파급된다. 특히 소음성 청력손실의 중요한 특징의 하나는 청력도(audiogram)상으로 C<sub>5</sub>음계(4,096Hz)에서 청력손실이 크게 나타난다. 소음유발 청력손실은 확실히 과도한 습관적인 자극으로 인해 와우각(달팽이관) 유모세포의 손상에 기인한다. 유모세포의 손상은 되돌릴 수 없고 알려진 어떠한 수술이나 약물치료로도 회복할 수 없다. 작업환경상 소음의 허용기준치를 초과하는 조건이 있어야 하며, 약 85dB(A)을 넘으면 와우에 손상을 입기 시작한다. 급성에 의한 영향보다 지속적 영향에 의하여 손실이 나타난다. 소음성 작업장에서 소음에 폭로된지 최소 8~10년의 기간이 경과되어야 나타난다[2]. 노인성난청(Presbycusis)은 나이가 많아짐에 따라 생리적인 신경세포의 노화현상으로 청력이 감퇴되는 것으로 남자의 경우 30세를 전후로 여자의 경우는 35세를 전후로 나타나기 시작한다고 한다.

Fig. 1은 와우각(cochlea)의 단면으로 (a)는 와우각내의 기저막을 펼친 것이며, (b)는 기저막 위치별 음압 응답특성을 나타낸 것이다. 귀는 음파를 신경 흥분으로 전환시키는 기관이며 외이(external ear),

중이(middle ear), 내이(inner ear)로 구성되어 있다. 내이는 소리를 신경흥분으로 전환하는 감수체이며, 전정(vestibule), 와우각(cochlea)등으로 구성되어 있다. 전정에는 난원창(oval window)이라고 하는 창이 있으며, 중이의 등골 끝이 여기에 접촉하고 있어서 등골이 진동하면 그 진동이 전정의 외임파에 전파되며, 전정의 외임파는 다시 청각의 감수체가 있는 와우각과, 평형감각의 감수체가 있는 반규관(semicircular canal)에 연락된다. 나선형관의 단면을 보면 기저막(basilar membrane)이라는 막으로 양분되어 있다.

Fig.2의 기저막은 섬유성의 막으로서 모세포(hair cell)가 있으며, 임파가 진동하면 복잡한 유체 운동의 결과로 변위가 생겨 상하로 진동한다. 기저막의 상하진동에 의해 흥분이 발생하고, 신경 임펄스 신호로서 전기 화학적 변화를 일으켜 와우각 신경섬유에 전도됨으로써 대뇌의 청각피질에 신경흥분이 보내지는 것이다. 기저막은 소리의 진폭, 주파수 및 소리의 질에 따라 이에 상응하는 운동을 하게 되는데, 주파수의 식별은 와우각의 기저부로부터 가까운 기저막

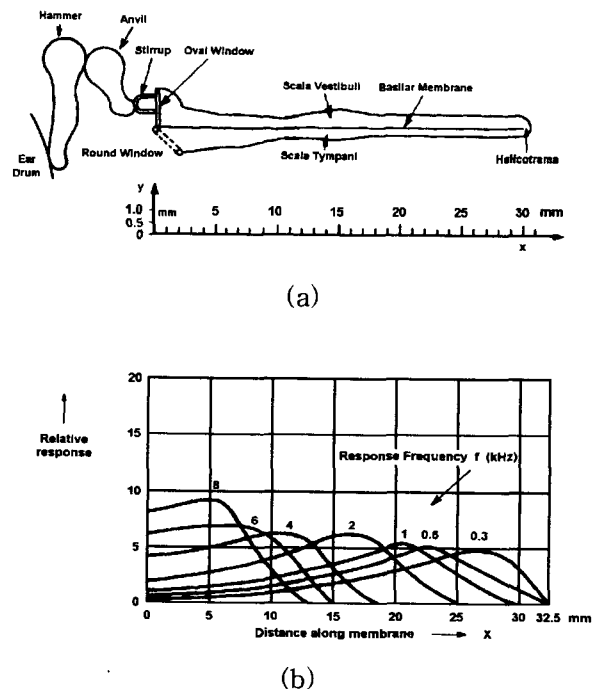


Fig. 1. Longitudinal section of the cochlea showing the positions of response maxima. (a) The cochlea considered as a straight tube. (b) The frequency sensitivity varies with distance along the basilar membrane.

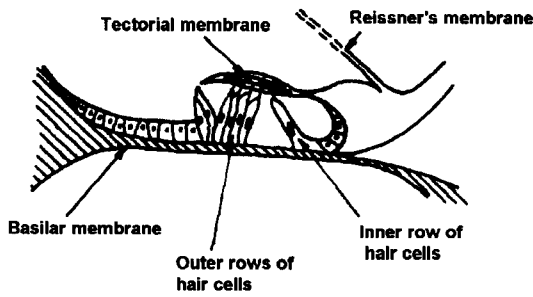


Fig. 2. Diagram of the hair cells on the basilar membrane.

부위가 진동할 때는 고음으로, 와우각의 꼭대기에 가까운 부위가 진동할 때는 저음으로 느끼게 된다. 그 이유는 높은 주파수에는 짧은 액체의 기둥이, 낮은 주파수에는 긴 액체의 기둥이 공명하기 때문이다. 즉 최대로 크게 움직이는 기저막 부위가 어디인가에 따라서 소리의 고저가 구별되는 것이다. 소리의 크기는 기저막 부위의 운동하는 진폭이 크면 큰 소리로, 작으면 작은 소리로 구별되고, 음질은 그 소리의 파형에 따라 기저막의 운동 부위가 여러 가지 시차를 가지면서 최대운동을 하는 것으로 가려진다[1-2].

과도한 소음의 폭로는 일시적 청력손실의 원인이 될 수 있으며, 강력한 과도소음이나 소음폭로가 길어지면 영구 청력손실이 될 수 있다. 최근에 소음폭로와 청력손실 사이의 관계에 대한 많은 연구가 진행 중이며, 소음유발 청력손실(noise induced hearing loss)과 다양한 청력손실의 원인이 되는 양들 사이의 관계를 (1)식과 같이 가정한다[5-7].

$$HTLAN = HTLA + HTLN - (1/120)(HTLA)(HTLN)(dB) \quad (1)$$

(1)식은 연령에 의한 청력손실(HTLA : hearing loss due to aging of a population)과 연령과 소음에 의한 청력손실(HTLAN : hearing loss due to aging and noise exposure) 그리고 소음유발 청력손실(HTLN : noise induced hearing loss) 사이의 상호 관계를 나타낸 것이다. (1)식을 소음유발에 의한 청력손실로 표현하면 (2)식과 같다.

$$HTLN = \frac{HTLAN - HTLA}{1 - HTLA/120} (dB) \quad (2)$$

HTLN은 계산된 HTLA값과 다양한 산업에 종사하는 많은 근로자의 측정자료를 이용하여 측정된 HTLAN으로부터 경험적 조사로 산출하였다. HTLN은 정상소음(steady-state noise)의 A청감보정 음압레벨(A-weighted sound pressure levels)에 폭로된  $T_N$ 의 기간동안 유지되는 결과에서 유도하였다.

정상소음에 폭로시 소음의 강도, 음압레벨, 폭로기간등은 소음폭로와 청력손실 사이의 분명한 관계를 밝히는 중요한 자료이다. 과도한 소음(excessive noise)에 의해 폭로된 량  $E_{A,T}$ 는 (3)식과 같다. 소음에 폭로된 레벨  $L_{EX,T}$ 는 표준폭로  $E_0$ 와 소음폭로  $E_{A,T}$ 로부터 (4)식과 같이 계산된다.

$$E_{A,T} = \int_0^T P_A^2(t) dt \quad (3)$$

$$L_{EX,T} = 10 \log_{10} (E_{A,T} / E_0) (dB) \quad (4)$$

변동소음에 폭로시 음압의 시간 변화에 대한 등가 A청감보정 음압레벨 (equivalent A-weighted sound pressure levels)  $L_{Aeq}$ 는 (5)식과 같다. (3), (4), (5)식으로부터 폭로레벨은 (6)식과 같이 표현된다.  $T_N$ 은  $L_{Aeq}$ 에서 폭로의 기간이며, 그때  $T_0$ 는 1년이다.

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left( 1/T \int_0^T P_A^2(t) dt \right) + const (dB) \quad (5)$$

$$L_{EX,T} = L_{Aeq} + 10 \log_{10} (T_N / T_0) (dB) \quad (6)$$

소음유발 청력손실과 소음폭로 사이의 관계는 소음폭로 레벨  $L_{EX,T}$ 의 함수이고, 음압레벨, 폭로기간 등이 고려된 소음유발 청력손실 정도(scale)는 귀에 입력되는 시간과 음압 제곱의 적분형태로 표현되며, 입력 에너지에 비례한다. 그러므로 큰소리를 오랜 시간동안 듣고 있으면 위험하다. 또한 순음과 같이 좁은 진동수 대역에 에너지가 집중되고 있는 소리도 좋지 않다.

연령, 소음폭로, 연령과 소음폭로의 결합형태등 여러 요인에 의해 청감민감도 변화(hearing sensitivity threshold shift)가 나타난다. 연령과 소음폭로 두 요인에 의한 발생하는 청감민감도 변화(STAN : hearing sensitivity threshold shift due to aging and noise exposure)는 연령과 소음폭로의 두 요인에 의한 함수관계이며, 관측된 청력손실(HTLAN)로부터 (7)식과 같이 계산된다. 청감민감도 STAN은 귀의 압력변환 민감도의 측정에 의해 결정되며, 연령 18세에 1의 값이라고 할 때 과도한 소음의 폭로와 연령의 증가는 STAN의 값이 식(7)에 따라 증가한다[8-10].

$$STAN = 10^{HTLAN/10} \tag{7}$$

연령증가에 의한 청감민감도 변화 (STA : hearing sensitivity threshold shift due to aging of a population)는 (8)식과 같고, 연령만에 대한 청력손실 HTLA로부터 계산된다. 연령 STA에 의한 청감민감도는 연령의 증가에 따라 증가한다.

$$STA = 10^{HTLA/10} \tag{8}$$

소음폭로만에 의한 청감민감도 변화 (STN : hearing sensitivity threshold shift due to noise exposure)는 식(9)와 같고, 소음 폭로가 없을 때 STN은 그 값이 0이다.

$$STN = 10^{HTLN/10} - 1 \tag{9}$$

두 요인이 고려된 연령과 과도한 소음의 폭로에 의한 청감민감도 변화 STAN은 연령에 의한 STA와 소음에 의한 STN의 합과 같다. (1), (2)식과 (7)~(9)식으로부터 연령과 소음에 의한 발생하는 청력손실은 (10)식과 같고, 단지 소음폭로에 의한 청력손실 HTLN은 (11)식과 같이 예측된다. 소음폭로에 의해 발생하는 청력손실 효과는 연령에 의한 효과의 10배이다. 그리고 두 효과의 합은 더욱 크게 증폭된다.

$$HTLAN = 10 \log_{10}(10^{HTLA/10} + 10^{HTLN/10} - 1) \tag{10}$$

$$HTLN = 10 \log_{10}(10^{HTLAN/10} - 10^{HTLA/10} + 1) \tag{11}$$

결과 및 고찰

Fig.3과 Fig.4는 80, 85, 90, 95, 100dB(A)의 소음폭로가 있을 때 50%의 청감의 한계레벨 변화를 느끼는 것을 조사한 것으로 Fig.3은 4kHz에서 Fig.4는 2kHz에서의 결과이다. 식(10)에서 만약 소음폭로의 향이 노인성 난청(presbycusis)의 향과 비교하여 크지 않을 때 HTLAN은 HTLA와 같게 된다. 만약 소음폭로의 향이 노인성 난청향과 -1 보다 크면 식(10)에서 HTLAN과 HTLN은 같게 된다. 식(10), (11)으로부터 소음레벨의 영역과 주파수에 대한 결과를 볼 수 있다. 연령의 증가에 대한 청감의 한계레벨은 2kHz보다 4kHz에서 더 크게 발생하였다. 이 결과는 노인성 변화로 인해 일어나는 것은 주로 고음에 대하여 크게 청력이 떨어짐을 확인하는 것이다 [5-7].

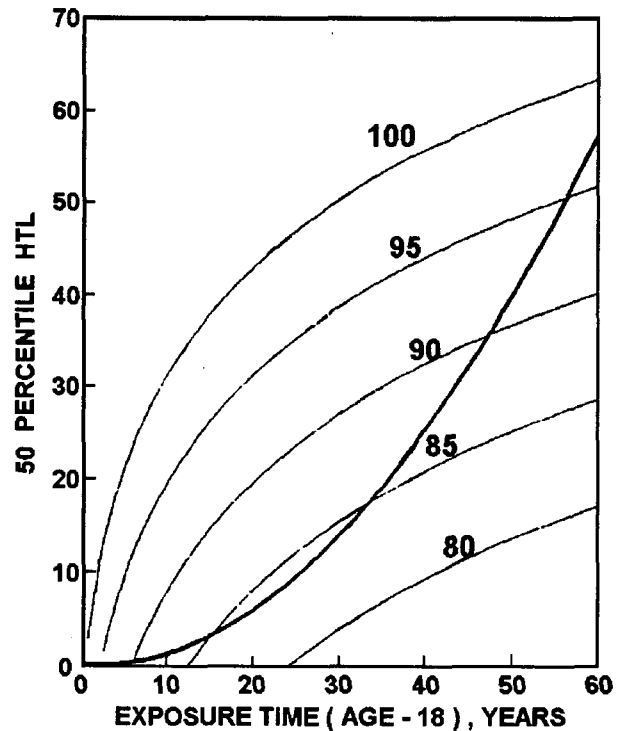


Fig. 3. Fifty percentile hearing threshold level (HTL) for men at 4kHz : The terms due to age (solid line) and due to noise (light lines) at 80, 85, 90, 95 and 100dB(A).

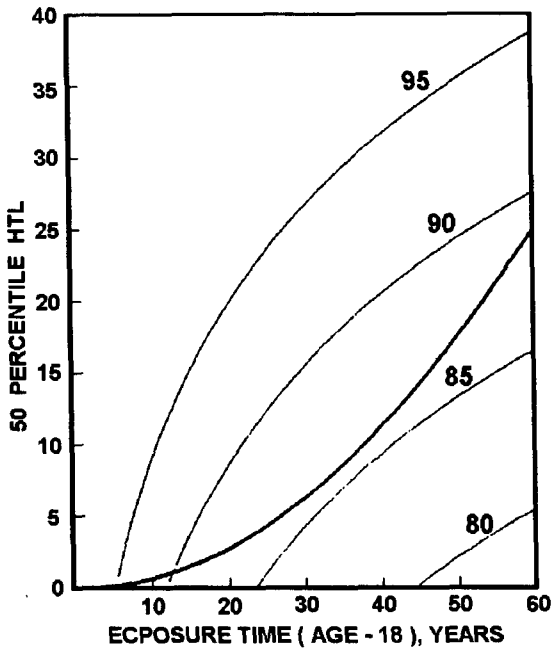


Fig. 4. Fifty percentile hearing threshold level (HTL) for men at 2kHz : The terms due to age (solid line) and due to noise (light lines) at 80, 85, 90 and 95dB(A).

Fig. 3과 4에서 음압  $P_A$ 의 청력 한계레벨이 분명하며, 음압 85dB(A)의 한계레벨 아래이면 소음유발 항이 노인성 난청을 초과하지 않는다. 그러나 음압 85dB(A)의 한계레벨 위이면 소음유발 항이 일정 연

령영역에서는 노인성 난청을 초과한다. 즉 소음폭로가 85dB(A)보다 낮으면 노인성 난청이 지배적이고, 소음폭로가 85dB(A)보다 크면 짧은 기간에서는 소음유발에 의한 효과가 크고, 긴 기간에서는 노인성 난청과 소음유발 청력손실의 효과가 거의 같은 수준이다.

소음폭로와 청력손실 사이의 관계를 조사하여 보면 소음폭로와 청력손실 사이에는 직접적인 관계가 있다. Gorig는 연령과 소음폭로에 의한 청력장애(handicap)로 발전된 위험율을 조사하였다[15]. 소음에 오랜 기간 폭로되었을 때 0.5kHz, 1kHz 그리고 2kHz에서 평균 25dB의 청력손실을 가져온다면 소음유발 청력장애로 발전될 위험율이 높은 것으로 제안하였다.

Fig. 5~Fig. 7은 90dB(A)로 소음에 오랜 기간 폭로되었을 때 연령과 소음폭로에 의해 발생하는 청력손실 레벨(HTLAN)을 나타낸 것으로, 1kHz, 2kHz, 3kHz 그리고 4kHz에서 여성의 청력손실 레벨을 조사한 것이다. Fig.5는 10%, Fig.6은 50%, Fig.7은 90%의 청력장애를 일으키는 것을 조사한 것이다.

Fig. 8~Fig. 10은 90dB(A)로 소음에 오랜 기간 폭로되었을 때 연령과 소음폭로에 의해 발생하는 청력손실 레벨(HTLAN)을 나타낸 것으로, 1kHz, 2kHz, 그리고 3kHz에서 남성의 청력손실 레벨을 조사한 것이다. Fig. 8은 10%, Fig. 9는 50%, Fig. 10은 90%의 청력장애를 일으키는 것을 조사한 것이다.

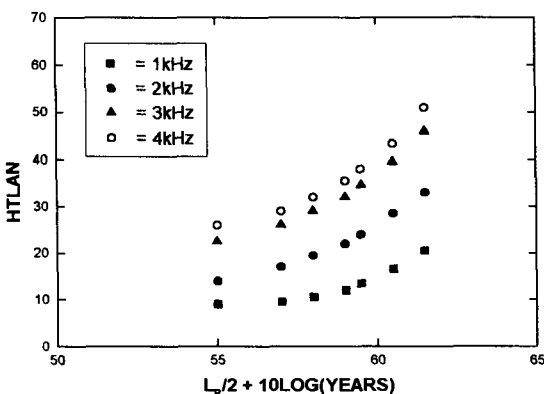


Fig. 5. HTLAN for women at 1kHz, 2kHz, 3kHz and 4kHz as a function of exposure based upon an integral of pressure with time. Levels of exposure have been calculated at 5 year intervals from 10-40 years and for 10% percentiles.

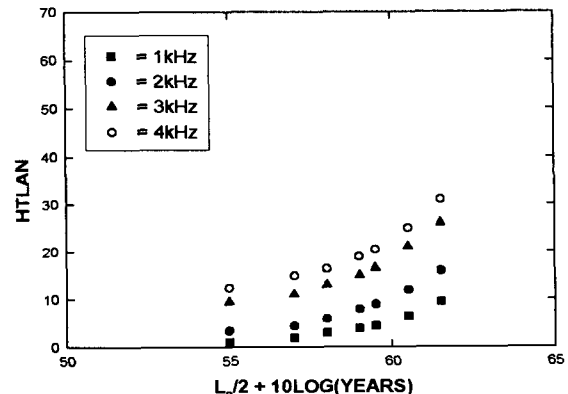


Fig. 6. HTLAN for women at 1kHz, 2kHz, 3kHz and 4kHz as a function of exposure based upon an integral of pressure with time. Levels of exposure have been calculated at 5 year intervals from 10-40 years and for 50% percentiles.

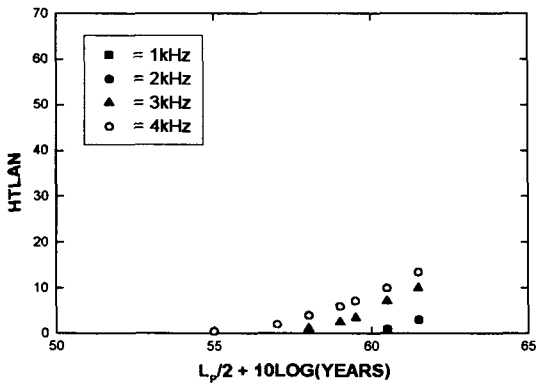


Fig. 7. HTLAN for women at 1kHz, 2kHz, 3kHz and 4kHz as a function of exposure based upon an integral of pressure with time. Levels of exposure have been calculated at 5 year intervals from 10-40 years and for 90% percentiles.

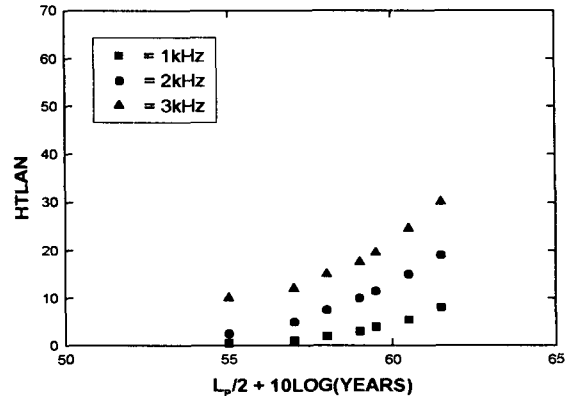


Fig. 9. HTLAN for men at 1kHz, 2kHz and 3kHz as a function of exposure based upon an integral of pressure with time. Levels of exposure have been calculated at 5 year intervals from 10-40 years and for 50% percentiles

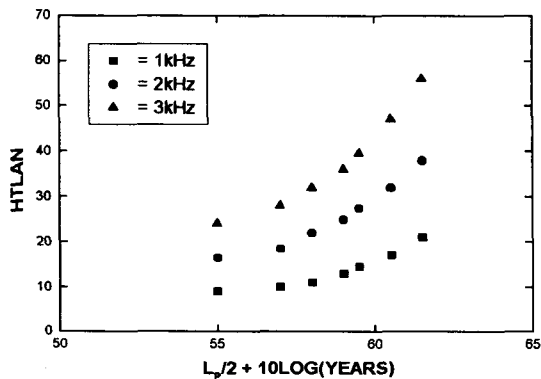


Fig. 8. HTLAN for men at 1kHz, 2kHz and 3kHz as a function of exposure based upon an integral of pressure with time. Levels of exposure have been calculated at 5 year intervals from 10-40 years and for 10% percentiles.

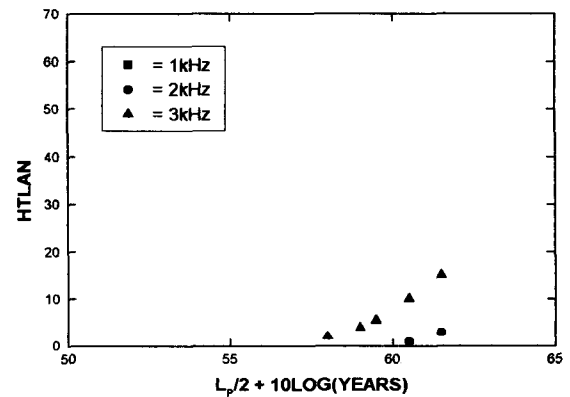


Fig. 10. HTLAN for men at 1kHz, 2kHz and 3kHz as a function of exposure based upon an integral of pressure with time. Levels of exposure have been calculated at 5 year intervals from 10-40 years and for 90% percentiles.

여성과 남성 두 부류 모두 연령과 소음폭로에 의한 청력손실은 고주파인 3kHz가 저주파수 1kHz보다 크게 나타났으며, 소음성 청력손실의 중요한 특징의 하나인 청력도(audiogram)상으로  $C_5$ 음계(4,096Hz)에서 청력손실이 크게 나타난다는 것과 일치한다. 여성의 경우 보다 남성의 경우가 연령과 소음에 의한 청력손실 레벨(HTLAN)이 높게 나타났으며, 연구결과에서 여성과 남성 모두 오랜 기간 소음에 폭로되

었을 때 3kHz에서는 청력장애로 발전될 위험율이 높다. 전체 위험율은 소음에 의한 성분과 노인성 난청에 의한 합의성분으로 유지된다. 그래서 상대적으로 짧은 기간 과도한 소음의 폭로와 상대적으로 낮은 소음에 장시간 폭로되었을 때 두 경우 다를 피해야 한다[11-14].

Fig.11은 연령에 의한 효과를 제외하고 장기간의 소음폭로에 대한 청감민감도 변화를 조사한 청력측정도 이다. 강력한 소음에 노출되어 생기는 청력손

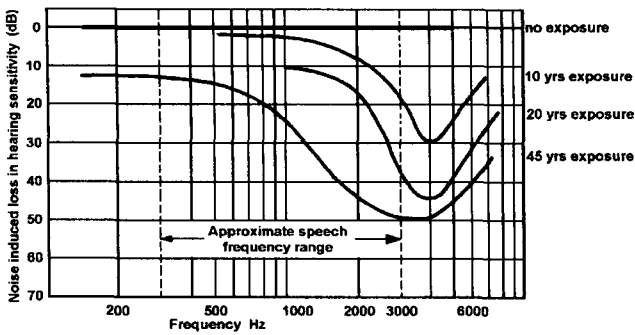


Fig. 11. Audiograms showing the typical reduction of hearing sensitivity as a result of long term exposure to industrial noise, excluding effects of age.

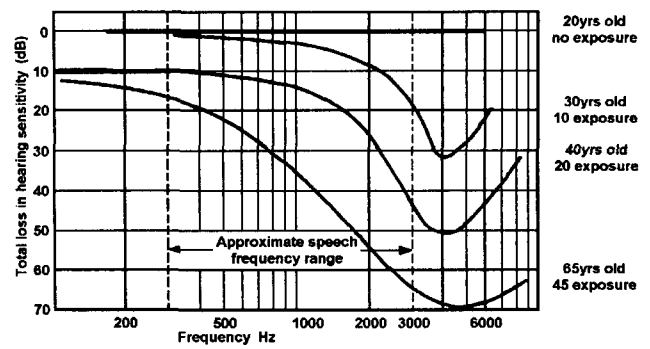


Fig. 12. Audiogram showing typical hearing losses resulting from both presbycusis and noise induced hearing loss.

실의 초기증상은 4kHz영역의 고주파음 청취 민감도 경계가 변하는 것이다. 하지만 소음유발 청력손실의 초기에 당사자는 실질적인 변화를 거의 알아차리지 못한다. 4kHz영역은 산업소음으로 인해 가장 손상받기 쉬운 전형적인 주파수영역이다. 청력손실은 이 영역에서부터 시작되어 노출이 계속되면 골(dip)은 더욱 깊어지고 저, 고주파영역으로 확대된다. 골이 넓어져 언어 주파수영역과 겹치면 음성인지가 점점 더 지장을 받고, 손상을 받은 사람이 여전히 말소리를 들을 수 있어도 그 말이 담고 있는 정보를 이해할 수 있을 만큼의 충분한 분별이 없게 된다[3,15].

Fig.12는 연령과 소음폭로 두 요인이 복합되어 발생하는 청력손실을 나타낸 청력측정도 이다. 내에서 일어나는 회복 불능의 청력손실의 다른 원인은 노인성 난청(presbycusis)이라 부르는 노화 과정으로 인한 것이다. 특히 고주파에서 영향이 큰 노인성 난청은 그 자체로도 문제가 발생하지만, 소음유발 청력손실이 더해진다면 대화의 곤란등 더욱 심각한 장애를 야기할 수 있다.

### 결 론

본 연구에서는 소음유발 청력손실과 소음폭로 사이의 관계를 해석하고자 다양한 청력손실의 원인이 되는 양과 청력손실 사이의 수리적 관계를 연구하였다. 그리고 연령, 소음폭로, 연령과 소음폭로의 결합 형태등 여러 요인에 의해 발생하는 청감민감도 변화와 청력손실 레벨을 조사하여 주파수 영역별 청력도를 해석하였다.

소음유발 청력손실과 소음폭로 사이의 관계는 소음폭로 레벨의 함수이며, 음압레벨, 폭로기간등이 고려된 소음유발 청력손실 정도(scale)는 귀에 입력되는 시간과 음압 제공의 적분형태로 입력 에너지에 비례한다. 그러므로 큰소리를 오랜 시간동안 듣고 있으면 위험하다. 또 순음과 같이 좁은 진동수 대역에 에너지가 집중되고 있는 소리도 좋지 않다. 소음폭로가 한계레벨인 85dB(A)보다 낮으면 노인성 난청이 지배적이고, 한계레벨보다 크면 짧은 기간에서는 소음유발에 의한 효과가 크고, 긴 기간에서는 노인성 난청과 소음유발 청력손실의 효과가 거의 같은 수준이다. 여성과 남성 두 부류 모두 연령과 소음폭로에 의한 청력손실은 고주파수가 저주파수보다 크며, 여성보다 남성의 경우가 연령과 소음에 의한 청력손실 레벨(HTLAN)이 높게 나타났다. 그리고 여성과 남성 모두 오랜 기간 소음에 폭로되었을 때 청력장애로 발전될 위험율이 높다. 강력한 소음에 노출되어 생기는 청력손실의 초기증상은 4kHz영역인 고주파음 청취 민감도의 경계가 변하는 것이다. 노출이 계속되면 C<sub>5</sub>음계(4,096Hz)를 중심으로 골은 더욱 깊어지고 저, 고주파영역으로 확대된다. 연령과 소음폭로 두 요인이 복합되어 발생하는 청력손실은 가장 중요한 언어 주파수영역과 겹치는 것이다. 그래서 노인성 난청은 그 자체로도 문제가 발생하지만, 소음유발 청력손실이 더해진다면 더욱 심각한 장애를 야기할 수 있다.

소음에 대한 노출을 줄이는 가장 효율적인 방법은 소음원 대책과 전파 경로의 차단등이다. 현재에도 높은 소음도가 발생하는 작업장이 많이 존재함으

로 작업장내의 전반적인 소음진단, 개인보호구 착용, 정기적 청력진단, 개인별 소음폭로량 자료관리등 청력 관리체제를 수립하여 소음폭로에 의해 발생하는 청력손실을 예방하여야 한다.

### 참고 문헌

1. W. Lawrence Gulick, George A. Gescheider, Robert D. Frisna: *Hearing - Physiological acoustics, neural coding, and psychoacoustics.* Oxford University Press, New York(1989)
2. 이출재, *작업환경소음진동학*, 도서출판 동화기술, 서울(1992)
3. White R.G., Walker J.G.: *Noise and vibration.* Institute of sound and vibration, University of Southampton(1980)
4. Miyakita T., Ueda A.: Estimates of workers with noise induced hearing loss and population at risk. *Journal of Sound and Vibration* 205(4): 441(1997)
5. Jerry L. Yanz, Paul J. Abbas: Age effect in susceptibility to noise-induced hearing loss. *J. Acoust. Soc. Am.* 72(5):1450(1982)
6. David A. Bies, Colin H. Hansen: An alternative mathematical description of the relationship between noise exposure and hearing loss. *J. Acoust. Soc. Am.* 88(6):2743(1990)
7. John H. Mills, Flint A. Boettcher, Judy R. Dubno: Interaction of noise-induced permanent threshold shift and age-related threshold shift. *J. Acoust. Soc. Am.*, 101(3):1681(1997)
8. Kraak W., Ertel H., Fuder G., et.al.: Risk of hearing damage caused by steady-state and impulsive noise. *Journal of Sound and Vibration* 36(3):347(1974)
9. Larry E. Humes: Noise induced hearing loss as influenced by other agents and by some physical characteristics of the individual, *J. Acoust. Soc. Am.* 76(5):1318(1984)
10. Clark W.W., Bohne B.A.: Effect of periodic rest on hearing loss and cochlear damage following exposure to noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 82(4):1253(1987)
11. Larry E. Humes, Blas Espinoza-Varas, Charles S. Watson: Modeling sensorineural hearing loss. I. Model and retrospective evaluation. *J. Acoust. Soc. Am.* 83(1):188(1988)
12. Macrae J.H.: Presbycusis and noise induced permanent threshold shift. *J. Acoust. Soc. Am.* 90(5):2513(1991)
13. Larry E. Humes, Walt Jesteadt: Modeling the interactions between noise exposure and other variables. *J. Acoust. Soc. Am.* 90(1):182(1991)
14. David R. White, Flint A. Boettcher, Lesa R. Miles, et.al.: Effectiveness of intermittent and continuous acoustic stimulation in preventing noise induced hearing and hair cell loss, *J. Acoust. Soc. Am.* 103(3):1566(1998)
15. A. Glorig: *Damage risk criteria for hearing, in Noise and vibration control.* edited by Beranek L.L., McGraw-Hill, New York, Chapter 17(1991)



## The analysis of the relation between noise induced hearing loss and noise exposure

Ho-Gyeong Chang

*Department of Physics, College of Natural Science, Kyungsan University*

In this paper, the analysis of the relation between noise induced hearing loss and noise exposure is described for the A-weighted noise levels and exposure duration. The hearing loss and sensitivity threshold shift is investigated by changing the various parameters such as the effects of aging and noise exposure. Total hearing loss is proportional to a function of exposure level based upon the integral of pressure with time. If the noise exposure term is large so that the presbycusis may be neglected, the hearing loss due to aging and noise exposure becomes the noise induced hearing loss. It is shown that exposure to excessive noise can cause temporary loss of hearing that may become permanent if the exposure is prolonged or intense. An audiogram taken from a person suffering from noise induced hearing loss will usually show the greatest loss of hearing sensitivity in the 4kHz region, which is typically the region most sensitive to damage resulting from many types of industrial noise.